

Planificación de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz

Instructor Ing. Guillermo Hervis Granda email: ghervisg@cih.cujae.edu.cu

Instructor Ing. Pedro P. Arias Lastre email: pariasl@cih.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH)
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae)

Ing. Carolina Tejeda Díaz email: carolinat@ahabana.co.cu
Especialista B. Depto de Proyectos. Empresa Aguas de la Habana.

Dr.C. Julián Herrera Puebla email: direccioninvest1@iagric.cu
Dirección de Investigaciones. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (MINAG)

Dra.C. Teresa López Seijas email: directoradjunta@iagric.cu
Dirección Proyecto BASAL. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (MINAG)

RESUMEN

La planificación detallada y precisa de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz, es un tema pendiente en los sistemas de riego de este cultivo. En respuesta a esa necesidad, este trabajo propone una metodología basada en la integración de un procedimiento de diseño hidráulico del riego en terrazas arroceras y un Sistema de Información Geográfico (SIG). Los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos se obtienen a partir de operaciones algebraicas entre mapas y mediante de la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo. Como estudio de caso fue aplicado el procedimiento en un grupo de campos arroceros, su aplicación permitió obtener los volúmenes y caudales necesarios para el primer riego del arroz, y a partir de estos, evaluar la funcionalidad del sistema de riego existente.

Palabras clave: aplicación a escala zonal, diseño hidráulico, sistema de información geográfica.

Planning of water resources needed in the first irrigation of rice

ABSTRACT

Detailed planning of water resources needed for the first irrigation of rice is a pending subject in the updating process of irrigation systems for this crop. To answer this need, the present work introduces a methodology based on the integration of a procedure for irrigation design in rice terraces along with a geographic information system (GIS). Parameters for water resources planning are obtained from algebraic operations between maps and the detailed quantification and resources needed for each field. Its application to a group of rice fields allowed to obtain necessary water volumes and discharges for the first irrigation of rice and, from these, to evaluate functionality of the existing irrigation system.

Keywords: zone scale application, hydraulic design, geographic information system.

INTRODUCCIÓN

El arroz es el alimento principal de las familias cubanas, anualmente se consumen en la isla 770 mil toneladas de este cereal. El arroz es el mayor consumidor de agua de la agricultura, estimándose un consumo promedio de 15 000 m³/ha. De este volumen una parte importante es empleada en el primer riego del arroz.

Uno de los problemas que incide en la gran demanda de agua del cultivo son las bajas eficiencias globales de los sistemas arroceros que, a nivel mundial en los mejores casos, no superan el 60%, mientras que en la actualidad en Cuba no sobrepasan el 40% (Herrera y González 2011).

Desde el año 2000 comenzó un proceso para elevar la eficiencia en el uso del agua en los sistemas arroceros, que incluye un grupo importante de tareas entre las que se encuentran: el rescate de prácticas olvidadas como la nivelación y alisamientos de los campos, la valoración de estrategias para la entrega y el manejo del agua en el campo, la modernización y rescate de la infraestructura hidráulica, el mantenimiento de los canales de riego, el rescate de la hidrometría, la corrección de las deficiencias de los esquemas típicos de diseño y el cambio de viejos conceptos sobre cálculo de los caudales a aplicar en el primer riego del arroz.

Indiscutiblemente este proceso permitirá incrementar la eficiencia en el uso del agua y la rentabilidad de las producciones. Lograr lo anteriormente expuesto dependerá en gran medida de un proceso de planificación detallado y preciso de los recursos hidráulicos necesarios, lo que permitirá evaluar la funcionalidad actual del sistema de riego y proponer la modificación parcial o total de los mismos.

En la actualidad son muchos los estudios a nivel mundial y nacional que centran su atención en la eficiencia en el uso del agua en el riego del arroz, entre los que pueden citarse: Chen et al. (2015), Karim et al. (2014), Sonit et al. (2015), Wang et al. (2014), Wijaya et al. (2010); sin embargo, se debe destacar que ninguno se acerca a la problemática que da lugar a este trabajo. Esto realza su importancia práctica y científica pues no existe una herramienta o metodología definida, que permita realizar la planificación de los recursos hidráulicos necesarios en el primer riego del arroz.

Todas las acciones a desarrollar persiguen el aumento sostenible y a largo plazo de la agricultura cubana frente a los impactos del cambio climático global; en el logro de este objetivo el arroz es esencial.

Este trabajo se enfoca en el desarrollo de una metodología y su aplicación como estudio de caso, en cuya concepción inicial dicha metodología se plantea los siguientes objetivos:

1. Obtener los parámetros para la planificación a escala zonal de los recursos hidráulicos demandados en el primer riego en las condiciones de la Empresa “Sierra Maestra”.
2. Evaluar las prácticas de manejo del riego en el área estudiada y la capacidad del sistema de canales ante las nuevas exigencias del riego.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área estudiada se encuentra ubicada en la Empresa “Sierra Maestra” localizada en el centro sur de la provincia de Pinar del Río, municipio Los Palacios. De la superficie analizada 154,06 ha son terrazas arroceras de distintas configuraciones, con sistemas ingenieros y semi-ingenieros, y 34,44 ha son ocupadas por canales de riego, canales de drenaje y superficies de apoyo a la producción agropecuaria.

OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS

Este estudio tiene como antecedente los realizados por López et al. (1998) y Rodríguez y López (2000). El procedimiento propuesto en este trabajo es aporte de sus autores, aunque tiene adaptaciones de los trabajos antecedentes, pero contextualizados a la problemática actual de los sistemas de riego y drenaje del arroz. En la figura 1 se ilustra el flujo del procedimiento seguido.

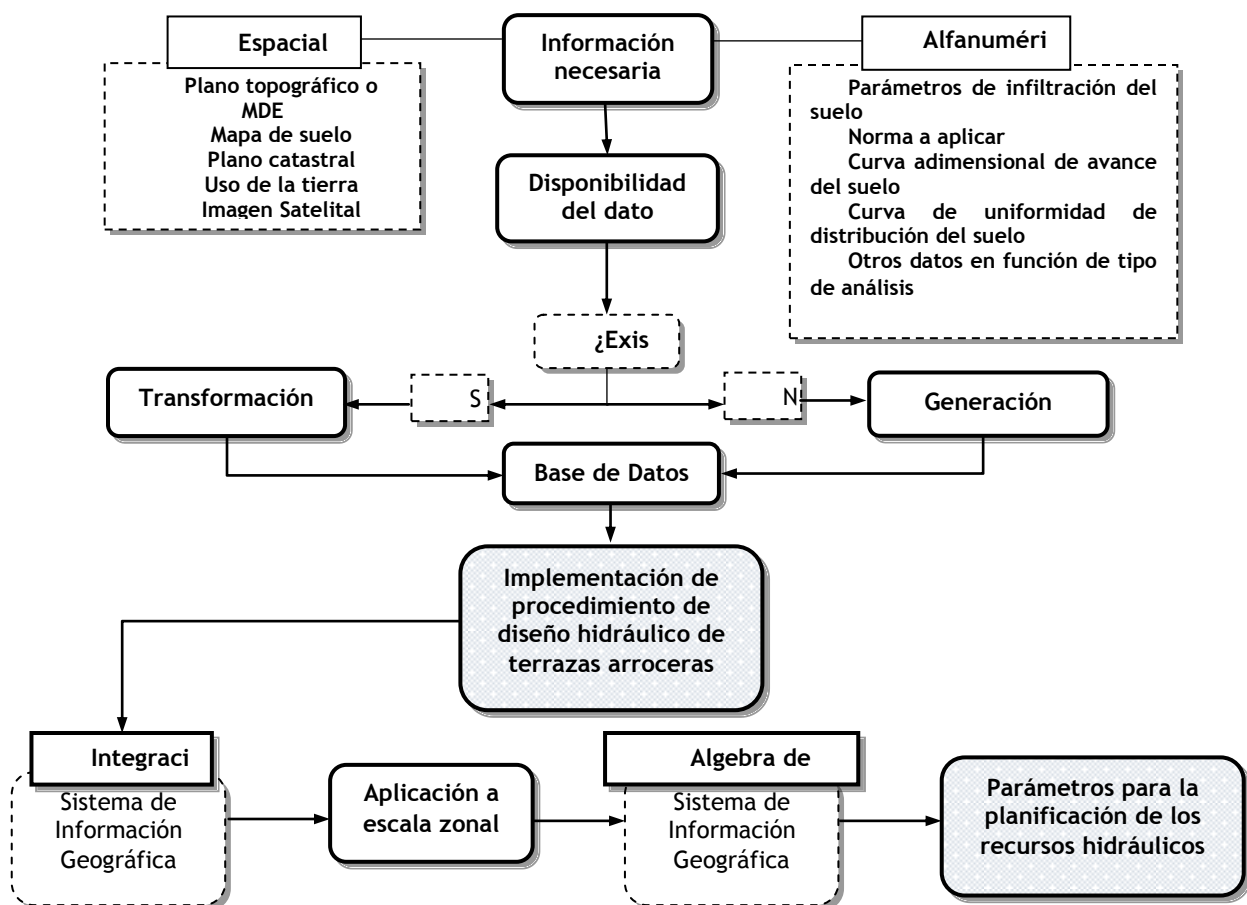


Figura 1. Flujo del proceso para la obtención de los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos (fuente: elaboración propia)

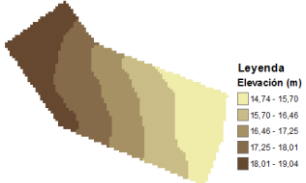
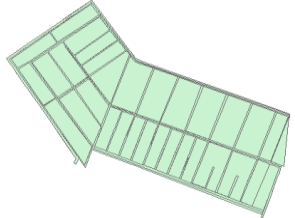
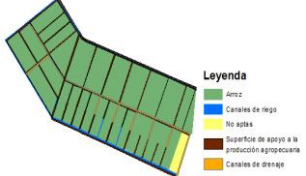
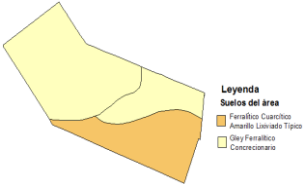
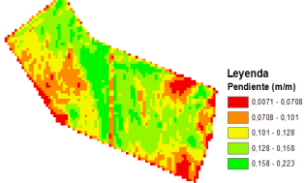
El procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras se aplica píxel a píxel; la información necesaria para el diseño es aportada por el SIG. Se recomienda emplear un Modelo Digital de Elevaciones detallado y para lograr una mayor precisión en el proceso se pueden emplear escalas 1:1000, 2000, 5000.

La información espacial contenida en cada pixel se transfiere al procedimiento de diseño que permite obtener los parámetros de diseño y operación de las terrazas arroceras para la alternativa seleccionada. Los resultados del procedimiento de diseño se transfieren al SIG para su aplicación a escala zonal. A partir de operaciones lógicas y aritméticas entre capas se obtienen mapas temáticos e informes que constituyen los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos.

Información necesaria

La información necesaria consiste en mapas y bases de datos alfanuméricos (ver tabla 1). De ellos se puede extraer la información necesaria para implementar el procedimiento de diseño hidráulico de terrazas arroceras. Como parte de la información necesaria pueden citarse: los parámetros de infiltración del suelo, la geometría y la longitud de la terraza, la pendiente del suelo.

Tabla 1. Mapas temáticos que constituyen información básica para el estudio

Información	Descripción	Figura
Modelo digital de elevaciones	Escala 1:25000(celdas 25x25m)	 <p>Leyenda Elevación (m)</p> <ul style="list-style-type: none"> 14.74 - 15.70 15.70 - 16.46 16.46 - 17.25 17.25 - 18.01 18.01 - 19.04
Plano catastral	Se considera como unidad básica del catastro al campo arrocero, definida como el área regada por un canal de riego.	
Uso de la tierra	Uso de la tierra en la zona estudiada, identificando las distintas coberturas del suelo existentes.	 <p>Leyenda</p> <ul style="list-style-type: none"> Arroz Canales de riego No solas Superficies de apoyo a la producción agropecuaria Canales de drenaje
Mapa de suelos	En la zona estudiada predominan dos tipos de suelos: 129,4 ha de <i>Gley Ferralítico Concrecionario</i> y 59,1 ha de <i>Ferralítico Cuarácico Amarillo Lixiviado Típico</i> . Estos suelos de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO (Cid et al. 2012) se clasifican como <i>Gleysols</i> y <i>Ferrasols</i> , respectivamente.	 <p>Leyenda Suelos del área</p> <ul style="list-style-type: none"> Ferralítico Cuarácico Gley Ferralítico Concrecionario
Mapa de máxima pendiente	Obtenido en el SIG a partir del procesamiento del MDE mediante la herramienta <i>HEC-Geo</i> de <i>ArcGIS</i> (ESRI 2012).	 <p>Leyenda Pendiente (m/m)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.0071 - 0.0708 0.0708 - 0.101 0.101 - 0.128 0.128 - 0.158 0.158 - 0.223

Fuente: elaboración propia

Procedimientos de diseño hidráulico del riego en terrazas arroceras

El diseño hidráulico del riego en terrazas arroceras es particularmente complejo. Este implica el abandono de enraizados criterios sobre cálculo del caudal a aplicar, que ha sido determinado históricamente por criterios puramente agronómicos, sin tener en cuenta las condiciones del suelo en esta etapa (Hervis et al. 2016).

El procedimiento de diseño implementado, propuesto por Rodríguez et al. (1997), sigue el análisis adimensional desarrollado por Walker (1989). En dicho procedimiento se tiene en cuenta la condición del suelo, lo que implica lograr un control entre la infiltración y el avance del frente de agua, aplicando la norma requerida por el cultivo con una eficiencia aceptable (>75%).

Como complemento al procedimiento, se emplea la familia de curvas de infiltración de los suelos cubanos (Samaké et al. 1998) como guía para estimar los parámetros de infiltración del modelo Kostiakov modificado.

Si se aplica el procedimiento de diseño se obtiene el hidromódulo de riego (ecuación 1) y el tiempo de aplicación (ecuación 2) para una uniformidad de distribución deseada. Además, se pueden obtener el gasto máximo no erosivo, sin desbordamiento de los diques y el caudal mínimo que asegura la adecuada distribución del agua en todo el ancho de la terraza (Walker 1989).

El caudal a aplicar o hidromódulo de riego se determina mediante la ecuación (1):

$$K^{**} = \frac{K \left(\frac{z_b \times L}{q} \right)^a + C \left(\frac{z_b \times L}{q} \right)^a}{\left(\frac{q \times n}{60 \times \sqrt{S_o}} \right)^{1/1.677}} \quad (1)$$

donde:

K^{**} : parámetro adimensional, obtenido de la curva de uniformidad de distribución (U_d) para una $U_d = 75\%$.

z_b : lámina infiltrada necesaria para cumplir las necesidades del cultivo (mm)

k , a y C : parámetros del modelo de infiltración Kostiakov modificado.

n : coeficiente de rugosidad de Manning ($n=0,04$ para suelos recién preparados)

S_o : pendiente del campo ($m \ m^{-1}$)

L : longitud de la terraza (m), distancia entre el canal de riego y de drenaje.

q : hidromódulo de riego ($m^2 \ min^{-1}$)

El tiempo de aplicación o tiempo de riego se determina mediante la ecuación (2):

$$tl = \alpha * A_o * C^{\beta-1} * \left(\frac{L}{q} \right)^{\beta} \quad (2)$$

donde:

A_o : es el área del flujo superficial ($m^2 \ m^{-1}$)

q : hidromódulo de riego ($m^2 \ min^{-1}$)

L : Longitud de la terraza (m)

α y β : parámetros adimensionales que definen el avance.

C : parámetro de infiltración del modelo Kostiakov modificado.

Como se expresa en secciones anteriores, el procedimiento de diseño se aplica a cada píxel que compone el campo o terraza analizada.

La aplicación de esta técnica permite tener información detallada de la microtopografía, siempre que se cuente con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) preciso.

De esta forma, la pendiente que se declara en el procedimiento es la pendiente de cada píxel y no la pendiente clásica en el diseño del riego superficial (desnivel entre el inicio y final del campo entre la longitud).

Aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño

El proceso de aplicación a escala zona I, consiste en la elaboración de mapas temáticos de las diferentes variables de salida del procedimiento de diseño.

Como herramienta de trabajo se empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG), ArcGis 10.2 (ESRI 2012).

La tabla 2 explica el procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG para la aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño. Este procedimiento sigue la línea de trabajo con un SIG y comprende una serie de pasos lógicos que permitieron el intercambio de información entre el procedimiento de diseño y el SIG.

Parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos

Los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos se obtienen mediante operaciones algebraicas entre mapas y a partir de la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo, de acuerdo con sus características.

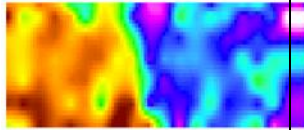
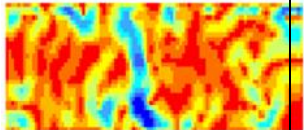

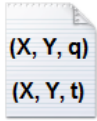
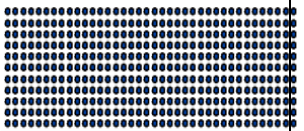
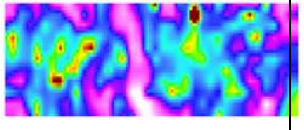
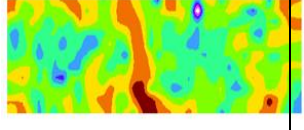
Las operaciones algebraicas entre mapas se realizaron mediante la herramienta *Spatial Analyst* de ArcGIS (ESRI 2012). A través de esta técnica se obtuvo el volumen necesario en el primer riego y la productividad del riego.

El volumen necesario en el primer riego se obtiene a partir de álgebra de mapas, multiplicando el mapa de hidromódulo riego por el mapa de tiempo de aplicación. La productividad de riego se obtiene dividiendo el caudal disponible en los canales terciarios entre el mapa de volumen necesario, resultante del procedimiento anterior.

La cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo es un proceso algebraico simple apoyado en el SIG; esta se realizó siguiendo la metodología explicada en la tabla 3.

De forma demostrativa se seleccionaron los campos 6, 11 y 24 para tener representatividad de todas las clases de los recursos y geometrías de los campos.

Tabla 2. Procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG, para la aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño

Paso	Descripción	Ejemplo
Mapa de topografía	El mapa topográfico del campo sirve como punto de partida para la integración del SIG con el procedimiento de diseño	
Mapa de pendientes	Una vez se genera el mapa de pendientes, se exporta un archivo "XYZ" que se empleará en el procedimiento de diseño y será útil para el resto de los pasos.	
Base de datos	Se crea una base de datos con las salidas del procedimiento de diseño.	
Archivo txt	En el archivo "XYZ" con los datos de pendiente se sustituye la columna Z por una de las variables de diseño. Es decir, X y Y son las coordenadas geográficas del punto, y "Z" es la variable independiente. Se generará un archivo txt con los datos X, Y y q o t.	
Mapa de puntos	Los archivos (X, Y, Z) se importan en el SIG generándose un mapa de puntos (vectorial) que representan la ubicación de los resultados del procedimiento de diseño en el mapa.	
Rasterización del mapa de puntos	El mapa de puntos se convierte a formato Raster en el SIG, mediante la herramienta <i>Point to Raster</i> , obteniendo así el mapa temático de la variable independiente "Z".	
Interpolación	El mapa rasterizado pasa por un proceso de interpolación mediante la herramienta <i>Natural Neighbor (3D Analyst)</i> .	
Fuente: elaboración propia		

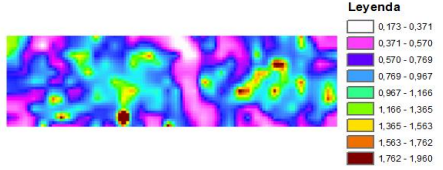
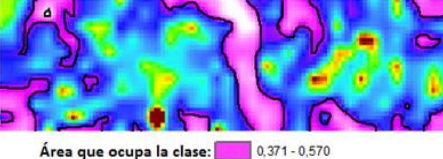
ESTUDIO DE CASO. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Aplicación a escala zonal de los resultados del procedimiento de diseño

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran los mapas temáticos de las variables de diseño. La figura 2 presenta el mapa de hidromódulo de riego, lo que permite conocer con exactitud el caudal necesario a aplicar para garantizar una eficiencia de aplicación y distribución de 75%.

La información que brinda el mapa de hidromódulo es valiosa en el análisis de las prácticas de manejo del riego y la capacidad del sistema de canales para garantizar las exigencias del riego, además de servir para el redimensionamiento y diseño de los canales, obras hidrométricas y de control asociadas al sistema.

Tabla 3. Procedimiento paso a paso del trabajo en el SIG para la cuantificación detallada de los recursos necesarios para cada campo

Paso	Descripción	Ejemplo
Mapa temático	Se tiene el mapa temático de un campo. Se obtiene su leyenda con rangos del recurso analizado.	 <p>Leyenda</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,173 - 0,371 0,371 - 0,570 0,570 - 0,769 0,769 - 0,967 0,967 - 1,166 1,166 - 1,365 1,365 - 1,563 1,563 - 1,762 1,762 - 1,960
Área del recurso	Empleando un SIG, se determina el área que ocupa cada clase de la leyenda dentro del mapa.	 <p>Área que ocupa la clase: 0,371 - 0,570</p>
Alberga	Se multiplica el área que ocupa cada clase de la leyenda por la media del valor numérico de la clase.	<p>0,371 - 0,570</p> <p>Valor medio de la clase: 0,475 m³/min/ha</p> <p>Área que ocupa la clase: 1,1 ha</p> <hr/> <p>0,523 m³/min</p>
Sumatoria	Se suma cada valor obtenido del proceso anterior.	<ul style="list-style-type: none"> 0,078 0,522 0,427 1,510 0,185 0,036 0,021 0,012 0,012 <hr/> <p>Σ 2,8046 m³/min</p>
Determinación de la media del recurso	Se divide el valor de la sumatoria por el área total del campo, obteniendo el valor medio del recurso determinado.	<p>Σ del recurso: 2,80 m³/min</p> <p>Área del campo: 4 ha</p> <hr/> <p>= 0,7 m³/min/ha</p>

Fuente: elaboración propia

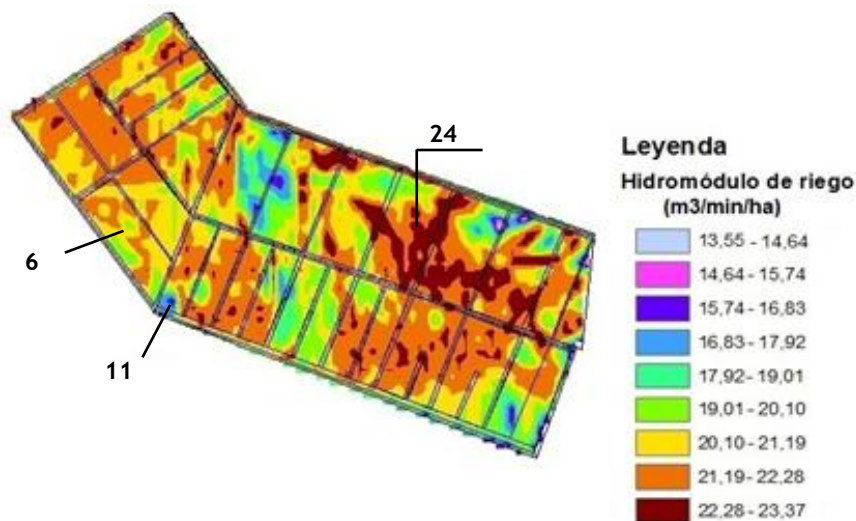


Figura 2. Mapa de hidromódulo de riego (m³/min por hectárea)

La figura 3 y figura 4, junto con el mapa de hidromódulo (figura 2) completan la información necesaria para la correcta ejecución del primer riego del arroz en las condiciones del área estudiada.

En la figura 3 se observa que existen zonas que demandan caudales mayores que 50 L/s por hectárea para garantizar la correcta distribución del agua en todo el campo. Esta información puede ser útil para evaluar la necesidad de trabajos de movimiento de tierra en el campo arrocero, a fin de mejorar el manejo del agua en este. Al mismo tiempo puede conocerse en cuales campos es más urgente realizar estas acciones y planificar el presupuesto necesario para su ejecución.

En la figura 5 se muestra el mapa del tiempo de aplicación, este brinda la información necesaria para realizar las estrategias del manejo del riego. El tiempo de aplicación definido por este mapa sigue la práctica habitual de los regadores, que tradicionalmente aplican el hidromódulo de riego en un tiempo igual al tiempo de avance del frente de agua.

La implementación de estas estrategias permitirá la ejecución de riegos rápidos y uniformes, conformes a los requerimientos del cultivo, a fin de incidir de manera positiva en la capacidad germinativa del arroz.

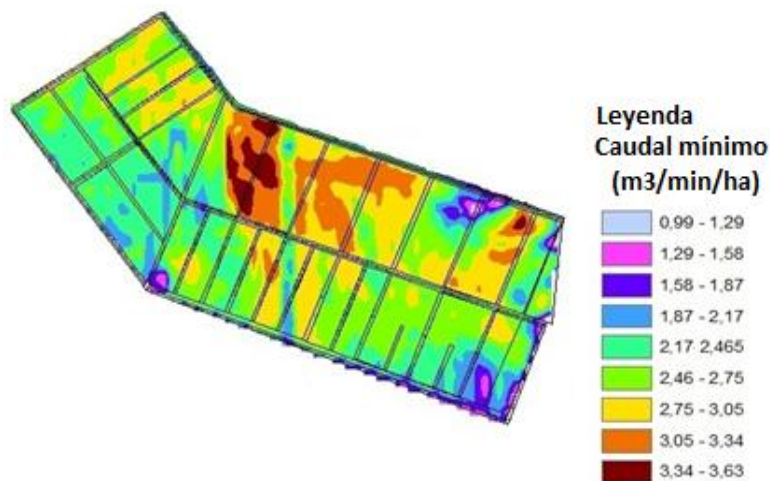


Figura 3. Mapa de caudal mínimo (m³/min por hectárea)

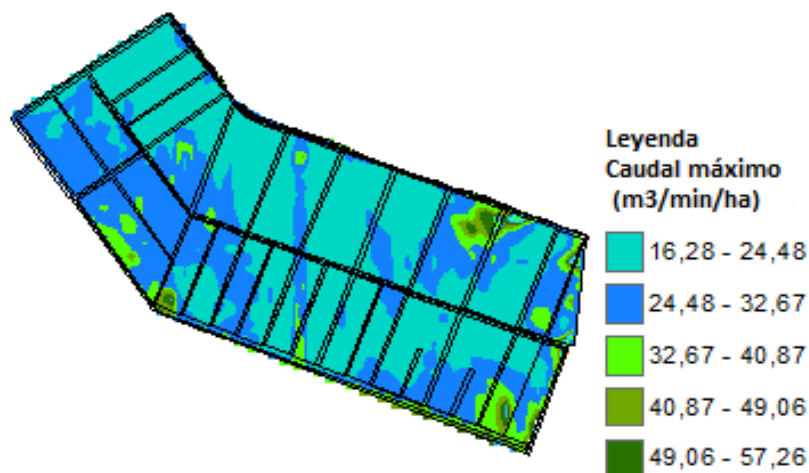


Figura 4. Mapa de caudal máximo (m³/min por hectárea)

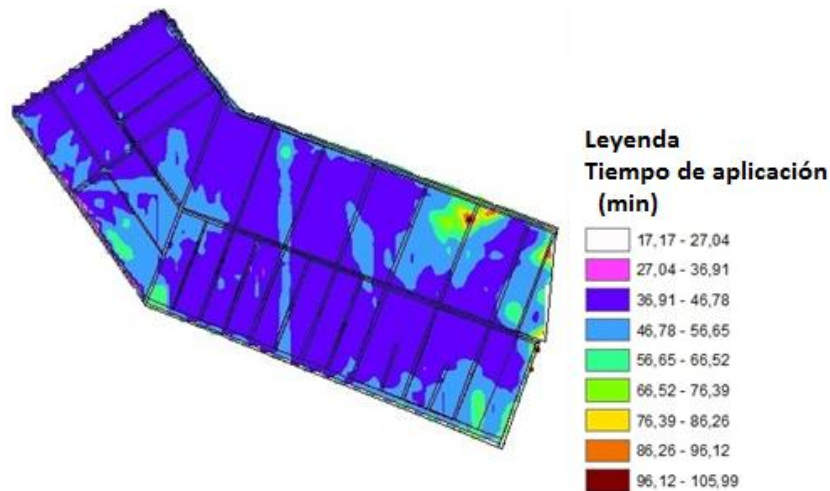


Figura 5. Mapa de tiempo de aplicación (m^3/min por hectárea)

PARÁMETROS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS

La figura 6 muestra el mapa de volumen unitario, cuya finalidad es la de estimar los recursos hidráulicos necesarios para la realización del primer riego.

La información aportada por este mapa permitirá la correcta planificación del agua necesaria, además constituye una útil herramienta en caso de existir déficit en la asignación del recurso.

A partir de él, la Empresa podrá tomar decisiones para la ejecución del riego en estas áreas o asignar los recursos hidráulicos disponibles a otras más productivas o con una menor demanda, decisiones que en todo caso dependerán de un análisis integral del problema.

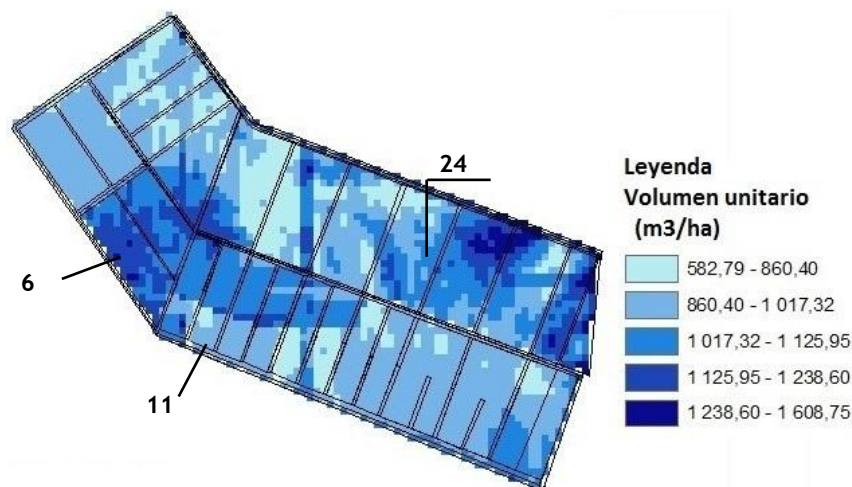


Figura 6. Mapa de volumen unitario (m^3/min por hectárea)

El mapa de productividad de riego (figura 7) define el área que es posible regar en la unidad de tiempo. La información que brinda este mapa permitirá a la empresa realizar una planificación del riego en el área y organizar la fuerza de trabajo.

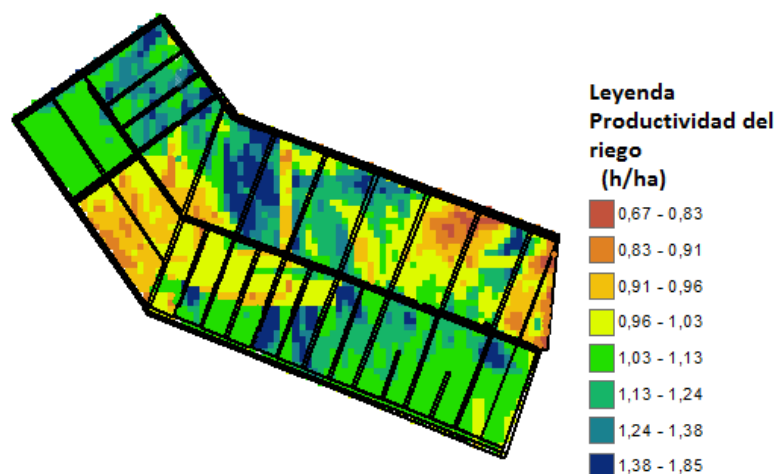


Figura 7. Mapa de volumen unitario (m^3/min por hectárea)

CUANTIFICACIÓN DETALLADA DE LOS RECURSOS NECESARIOS PARA CADA CAMPO

En la tabla 4 se presentan los recursos hidráulicos necesarios para la ejecución del primer riego del arroz en los campos 6, 11 y 24 del área de estudio. A partir de este análisis por clases de recursos se puede obtener de forma precisa los recursos para cada uno de los campos.

En los campos analizados, se puede observar que el volumen unitario medio (V_u medio) se encuentra entre 1020 y 1155 m^3/ha . De aplicar este procedimiento a cada uno de los campos que componen el área estudiada, se determinó el valor promedio del volumen unitario en 976 m^3/ha .

Tabla 4. Volumen total y volumen medio de los campos 6, 11 y 24

Clases de Volumen ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Campo 6		Campo 11		Campo 24	
	Área (ha)	Volumen (m^3)	Área (ha)	Volumen (m^3)	Área (ha)	Volumen (m^3)
582,79 - 860,40	0	0	0	0	0,025	17,75
860,40 - 1017,32	0,039	36,43	1,630	1530,25	1,084	1017,63
1017,32 - 1125,95	1,966	2106,83	1,853	1985,63	4,37	4679,83
1125,95 - 1238,60	4,534	5360,91	0,208	245,56	2,26	2666,03
1238,60 - 1608,75	0,190	270,50	0	0	1,014	1444,18
Total	6,729	7774,66	3,6905	3761,44	8,745	9825,42
V_u medio ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1155,43		1019,22		1123,56	

La cuantificación detallada del hidromódulo de riego en cada campo, permite obtener el caudal unitario medio (q_u medio) para toda el área, que en este caso asciende a 21,44 m^3/min por hectárea. A partir de la tabla 5 pueden conocerse los caudales necesarios que deben conducir los canales terciarios para cumplir las necesidades del riego (Q_n).

Tabla 5. Caudal que debe conducir el canal terciario para cumplir las necesidades del riego de los campos 6, 11 y 24

Clases de q ($m^3 \text{ min}^{-1} \text{ ha}$)	Campo 6		Campo 11		Campo 24	
	Área (ha)	Q_n ($m^3 \text{ min}^{-1}$)	Área (ha)	Q_n ($m^3 \text{ min}^{-1}$)	Área (ha)	Q_n ($m^3 \text{ min}^{-1}$)
11,01 - 16,88	0	0	0	0	0,198	2,761
16,88 - 18,87	0,0607	1,085	0	0	0,705	12,602
18,87 - 20,43	0,845	16,604	0	0	0,971	19,080
20,43 - 21,74	3,739	78,837	1,140	24,037	1,499	31,606
21,74 - 23,38	2,027	45,729	2,718	61,318	5,392	121,644
Total	6,6717	142,255	3,858	85,355	8,765	187,693
q_u medio ($m^3 \text{ min}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)	21,322		22,124		21,414	

EVALUACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO Y DEL SISTEMA DE CANALES

Una vez obtenidos los parámetros para la planificación de los recursos hidráulicos, puede realizarse un análisis de las prácticas de manejo del agua y la capacidad del sistema de canales de riego.

La práctica actual de manejo del riego en las áreas de la Empresa “Sierra Maestra”, es regar todo el campo con un caudal de 8 L/s por hectárea. Como se explicaba en acápite anteriores, este gasto comprende únicamente las necesidades de la planta, sin tener en cuenta la condición del suelo ante el riego.

Precisamente en eso radica la gran diferencia entre los resultados obtenidos en este estudio y la práctica actual de manejo del riego. En este caso el caudal unitario medio, que permite lograr una eficiencia de aplicación aceptable, es de 21,44 m^3/min por hectárea (300 L/s por hectárea).

Un gasto unitario de 21,44 m^3/min por hectárea, manejado en unidades del riego por terrazas, equivaldría a 1,34 $m^3 \text{ min}^{-1}$ por metro del frente de avance. Si se toma como referencia el campo 11 de 110 metros de ancho, el gasto necesario para la ejecución del riego equivaldría a 2450 L/s.

A pesar de que el caudal unitario calculado logra garantizar las exigencias hidráulicas del riego, resulta bastante alto para su manejo dentro del campo e implicaría el redimensionamiento de los canales de riego, que fueron diseñados para 8 L/s /ha.

Los resultados anteriormente discutidos, resultan lógicos si se analiza que se están regando desde la cabecera campos de longitudes entre 380 y 440 metros.

La cuantía del gasto obtenido radica en la relación directa que existe entre el gasto a aplicar y la longitud de campo, de manera que, para lograr una eficiencia de aplicación adecuada en un campo extenso, el gasto a aplicar deberá ser alto (USDA 1974).

CONCLUSIONES

- A partir de la metodología desarrollada, se obtuvieron los parámetros para la planificación a escala zonal de los recursos hidráulicos demandados en el primer riego en las condiciones de la Empresa Sierra Maestra. Se puede concluir, que las prácticas actuales de manejo del agua no posibilitan un riego eficiente.
- Las prácticas de manejo del riego actuales no permiten emplear la red de canales para garantizar un riego eficiente, pues su capacidad de conducción es inferior a la demandada por las nuevas exigencias del riego.
- Para lograr riegos eficientes en los campos arroceros estudiados, se debe valorar el redimensionamiento de estos para poder disponer de los canales de riego existentes, y en casos de extrema necesidad redimensionar estos para ponerlos a disposición del riego.
- Una posible solución sería el manejo del agua por el método de micro-campo, aunque esta solución implicaría la reestructuración de la red parcelaria y una organización precisa del riego y de la fuerza de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto, Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (BASAL), que se ejecuta en Cuba desde el 2013 con financiamiento de la Unión Europea y la Agencia Suiza COSUDE, implementado por el PNUD y liderado por la Agencia de Medio Ambiente y el Inst. de Geografía Tropical, con la participación de entidades del MINAG y del MES.

REFERENCIAS

- Chen Y.; Peng J.; Wang J.; Fu P.; Hou Y.; Zhang C.; Fahad S.; Peng S.; Cui K. and Nie L.** (2015) “Crop management based on multi-split topdressing enhances grain yield and nitrogen use efficiency in irrigated rice in China”, *Field Crops Research*, 184, 50-57. ISSN: 0378-4290, Elsevier, Netherlands.
- Cid G.; López T.; González F.; Herrera J. y Ruiz M.** (2012). “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 2, No. 2, julio-diciembre, pp. 25-31. ISSN-2306-1545, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.
- ESRI** (2012). “Software ArcGIS Desktop version 10.2.1.3497”, Environmental Systems Research Institute, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- Herrera J. y González F.** (2011). “Sobre el uso del agua en la agricultura en Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 1, No. 2, pp. 1-7, julio-diciembre. E-ISSN-2227-8761. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.
- Hervis G.; Reyes J. y Herrera J.** (2016). “Criterios hidráulicos y validación matemática para el diseño del campo arrocero”, *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 6, No. 3, (julio-agosto-septiembre), pp. 33-40. ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Cuba.

- Karim M.; Alam M.; Ladha J.; Islam M. and Islam M.** (2014). “Effect of different irrigation and tillage methods on yield and resource use efficiency of boro rice (*Oryza sativa*)”, Bangladesh Journal of Agricultural Research, 39, 151-163, ISSN 0258-7122, Bangladesh.
- López G.; Berbén T.; Herrera J. y Ricardo M.** (1998). “Estudio de los problemas de salinidad en una granja de semillas de arroz mediante el uso de un SIG”. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ministerio de la Agricultura, Cuba, (Inédito).
- Rodríguez A.; Faran M.; Díaz A.; Reyes J. y Herrera J.** (1997). “Procedimiento para el diseño hidráulico y la evaluación de las terrazas arroceras”. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Ministerio de la Agricultura, Cuba, (Inédito).
- Rodríguez J. y López G.** (2000). “Planificación de los recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG”, Investigación agraria: Producción y protección vegetales, Vol. 15, No. 3, pp. 181-194. Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia y Tecnología, España.
- Samaké M.; Cintra A.; Fernández J. y Álvarez J.** (1998). “Familias de curvas de infiltración para los suelos arroceros cubanos y sus aplicaciones en el diseño de sistemas de riego para estos suelos”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 7, No. 1, pp. 75-77, ISSN-1010-2760. Universidad Agraria de la Habana, Cuba.
- Sonit A.; Hemlata K.; Sinha J. and Katre P.** (2015). “Optimization of water use in summer rice through drip irrigation”, Journal of Soil and Water Conservation, 14, 157-159, Print ISSN 0022-4561, Online ISSN 1941-3300. Soil and Water Conservation Society, USA.
- USDA** (1974). “National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 4, Border Irrigation”, Natural resource and conservation service, ISBN: 978-0-89118-162-0, US Department of Agriculture, US Government Printing Office, USA.
- Walker W.** (1989). “Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems”, Irrigation and Drainage, No. 45, ISBN 92-5-102879-6. Food and Agriculture Organization (FAO). United Nations.
- Wang W.; Yu Z.; Zhang W.; Shao Q.; Zhang Y.; Luo Y.; Jiao X. and Xu J.** (2014). “Responses of rice yield, irrigation water requirement and water use efficiency to climate change in China: Historical simulation and future projections”. Agricultural water management, 146: 249-261, ISSN: 0378-3774, Elsevier, Netherlands.
- Wijaya K., Nishimura T., Setiawan B. I. and Saptomo S. K.** (2010). “Spatial variability of soil saturated hydraulic conductivity in paddy field in accordance to subsurface percolation”, Paddy and Water Environment, 8: 113-120, Print ISSN 1611-2490, Online ISSN 1611-2504, Springer-Verlag, Germany.